



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H05H 3/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021115997, 03.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.06.2021

Дата регистрации:
29.06.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.06.2021

(45) Опубликовано: 29.06.2022 Бюл. № 19

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой
Н.Д.

(72) Автор(ы):

Олейник Андрей Николаевич (RU),
Каратаев Павел Владимирович (RU),
Кубанкина Анна Андреевна (UA),
Кубанкин Александр Сергеевич (RU),
Щагин Александр Васильевич (UA)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

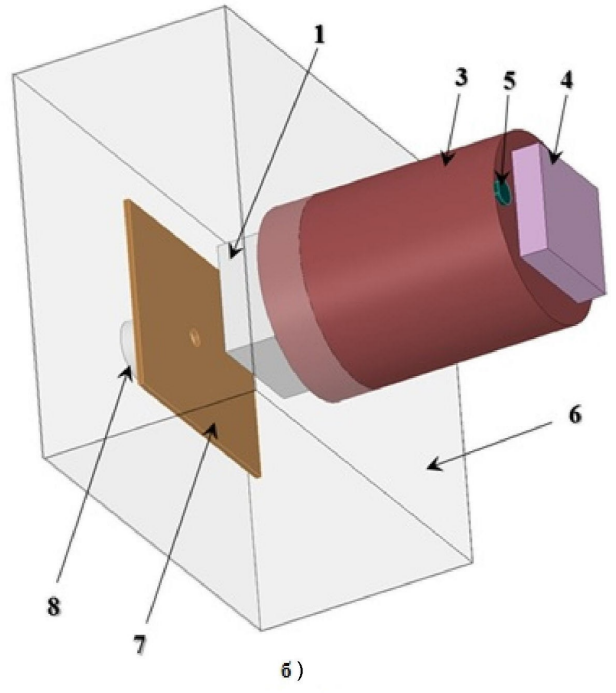
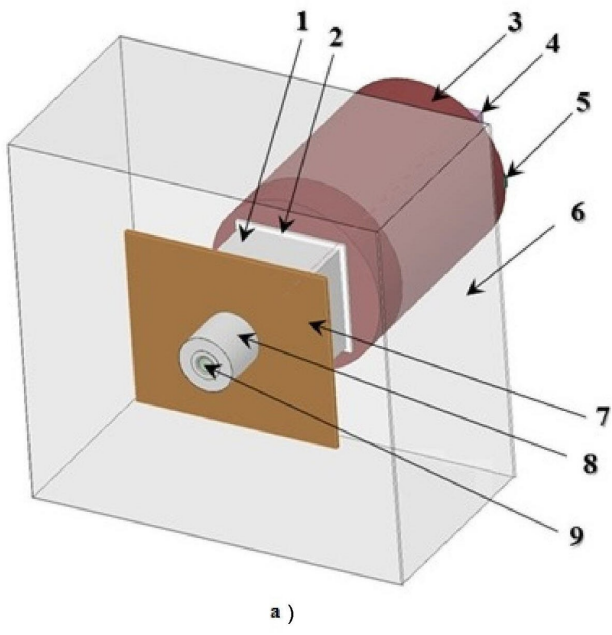
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2010260322 A1, 14.10. 2010. RU
121648 U1, 27.10.2012. US 2008142717 A1,
19.06.2008. US 2012170718 A1, 05.07.2012. DE
202013005768 U1 22.07.2013. RU 29405 U1,
10.05.2003.

(54) Генератор ионизирующего излучения на основе периодического варьирования температуры пьезоэлектрического кристалла (варианты)

(57) Реферат:

Изобретение относится к области рентгеновской и ускорительной техники, в частности к генераторам и ускорителям заряженных и нейтральных частиц. Технический результат - повышение стабильности и воспроизводимости потока ионизирующего излучения. Генератор содержит пьезоэлектрический кристалл, нагревательное устройство, источник питания и мишень с креплением. Нагревательное устройство

выполнено в виде элемента Пельтье, а источник питания содержится в дополнительно установленном термоконтроллере, расположенном вне вакуумированного корпуса на теплопроводе, на котором также закреплена термopара, которые все вместе осуществляют периодическое варьирование температуры пьезоэлектрического кристалла по синусоидальному закону. Предложены варианты генератора. 3 н.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг. 1

RU 2775274 C1

RU 2775274 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H05H 3/00 (2022.05)

(21)(22) Application: **2021115997, 03.06.2021**

(24) Effective date for property rights:
03.06.2021

Registration date:
29.06.2022

Priority:

(22) Date of filing: **03.06.2021**

(45) Date of publication: **29.06.2022** Bull. № 19

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Tsurikovoj N.D.**

(72) Inventor(s):

**Olejnik Andrej Nikolaevich (RU),
Karataev Pavel Vladimirovich (RU),
Kubankina Anna Andreevna (UA),
Kubankin Aleksandr Sergeevich (RU),
Shchagin Aleksandr Vasilevich (UA)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **GENERATOR OF IONISING RADIATION BASED ON PERIODIC VARIATION OF THE TEMPERATURE OF A PYROELECTRIC CRYSTAL (VARIANTS)**

(57) Abstract:

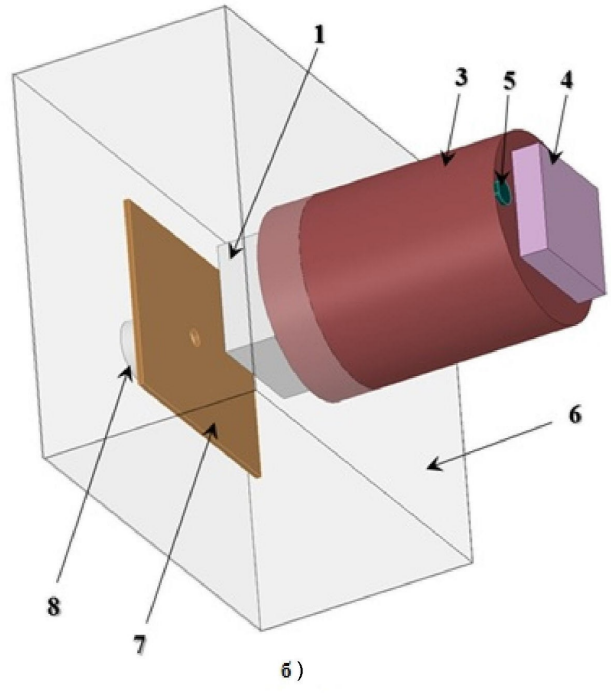
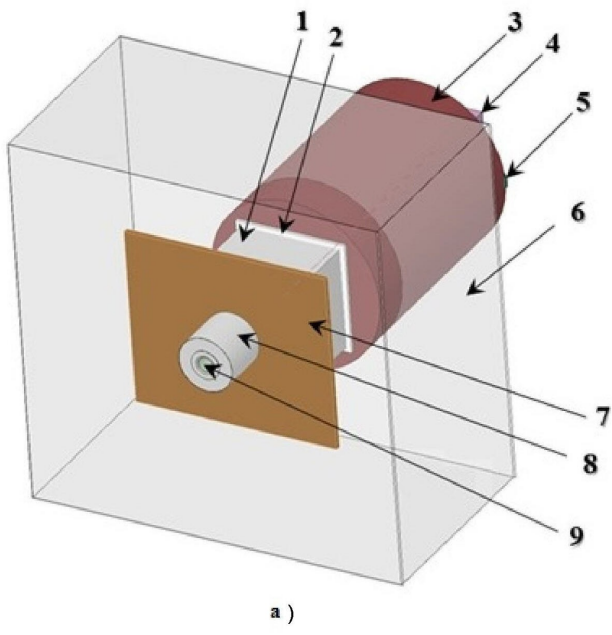
FIELD: medical equipment.

SUBSTANCE: invention relates to the field of X-ray and accelerating equipment, in particular, to generators and accelerators of charged and neutral particles. Generator comprises a pyroelectric crystal, a heating apparatus, a power source, and a target with a mount. The heating apparatus is made in the form of a Peltier element, and the power source is contained in an additionally installed thermal controller located

outside of the evacuated body on a heat line, secured whereon is also a thermocouple, all of which in combination perform periodic variation of the temperature of the pyroelectric crystal according to the sine law. Proposed are variants of the generator.

EFFECT: increase in the stability and reproducibility of an ionising radiation flux.

3 cl, 4 dwg



Фиг. 1

RU 2775274 C1

RU 2775274 C1

Изобретение относится к области рентгеновской и ускорительной техники, в частности к генераторам и ускорителям заряженных и нейтральных частиц, а также к генераторам электромагнитного излучения и нейтронов, и может использоваться для генерации и ускорения электронов до энергии около 150 кэВ, генерации рентгеновского излучения до аналогичной граничной энергии, нейтронов с энергией 2.45 МэВ.

Изменение температуры пироэлектрического кристалла в условиях вакуума приводит к пироэлектрическому эффекту, который заключается в генерации сильного электрического поля в пространстве между полярной поверхностью пироэлектрического кристалла и окружающими элементами. Сопутствующим эффектом является эмиссия электронов с поверхности пироэлектрического кристалла или окружающих элементов (в зависимости от полярности заряда на полярной поверхности кристалла). Торможение электронов в пироэлектрическом кристалле и окружающих элементах приводит к генерации тормозного и характеристического рентгеновского излучения. При наличии дополнительных ионизаторов на поверхности пироэлектрического кристалла происходит также полевая ионизация молекул газа и генерация потоков положительных ионов. Наличие дейтерированных покрытий на пироэлектрическом кристалле или окружающих элементах, дополнительных ионизаторов на полярной поверхности пироэлектрического кристалла (массивы наноигл, наноострии, нанотрубок) и газа дейтерия при давлении 10 мТорр и менее позволяет осуществить D-D реакцию и приводит к генерации потока быстрых нейтронов с энергией 2.45 МэВ.

Известно устройство для генерации рентгеновского излучения под названием «Electron and x-ray generator» (US № 3840748 А, публ. 08.10.1974 г.), принцип работы которого основан на вышеописанном эффекте. Устройство состоит из корпуса, пироэлектрического кристалла, нагревателя, источника питания нагревателя и мишени. Заземленная мишень располагается перед пироэлектрическим кристаллом. Данная геометрия является наиболее распространенной в подобных генераторах рентгеновского излучения. Положительный заряд индуцируется при нагреве монокристалла в случае ориентации вектора спонтанной поляризации монокристалла в сторону от мишени. При обратной ориентации положительный заряд индуцируется при охлаждении монокристалла. Для индукции отрицательного заряда необходимо охлаждение монокристалла при ориентации вектора спонтанной поляризации монокристалла в сторону от мишени, и обратно, необходим нагрев при ориентации в противоположную сторону

В патенте под названием «Генератор рентгеновского излучения» (RU № 177198, публ. 13.02.2018 г.), описано устройство позволяющее генерировать рентгеновское излучение, интенсивность которого меняется незначительно на протяжении всего периода эксплуатации. Устройство состоит из теплопровода, элемента Пельтье, пироэлектрического кристалла, бериллиевого окна вывода генерируемого излучения и герметичного титанового корпуса с высокоразвитой внутренней поверхностью. Устройство не предусматривает возможности управления процессом генерации рентгеновского излучения в пироэлектрических кристаллах при изменении их температуры.

Использование пироэлектрического генератора рентгеновского излучения для калибровки рентгеновских приборов описано в патенте «Calibration source for X-ray detectors» (US №7266178 В2, публ. 04.09.2007 г.). Авторы описанной полезной модели покрыли полярную поверхность монокристалла тонким слоем металла (таким же, как и мишень) для получения необходимой характеристической линии рентгеновского излучения. Кроме того, устройство предусматривает использование дополнительного

поглотителя рентгеновского излучения для более эффективной конвертации тормозного рентгеновского излучения в характеристическое.

Известно устройство, описанное в патенте «Pyroelectric crystal x-ray generating device using radiant heat» (WO № 2012046953 A2, публ. 12.04.2012 г.), в котором предлагается использование бесконтактного нагрева монокристалла при помощи нагревательного элемента, покрывающего корпус источника в нижней части, где находится монокристалл. Использование такой схемы обеспечивает равномерный разогрев монокристалла без градиентов и способствует защите используемого монокристалла от образования микротрещин от термических напряжений, однако закон варьирования температуры монокристалла в данной схеме не уточняется и его вариация довольно проблематична.

Также известно устройство, описанное в патенте «Миниатюрный источник рентгеновского излучения, использующий пироэлектрический кристалл и полупроводниковый диод» (RU № 196850U1, публ. 18.03.2020 г.) с особенной системой подвода тепла, которая предполагает нагрев пироэлектрического кристалла извне вакуумной камеры при помощи полупроводникового диода, который имеет тепловой контакт с пироэлектрическим кристаллом внутри вакуумной камеры через теплопровод. Технический результат описанного устройства заключается в увеличении интенсивности и граничной энергии генерируемого рентгеновского излучения, посредством контролируемого нагрева пироэлектрического кристалла полупроводниковым диодом.

Другой способ осуществления генерации частиц, основанный на пироэлектрическом эффекте, описан в патенте «Импульсный пироэлектрический ускоритель» (RU № 183140U1, публ. 12.09.2018 г.) и заключается в применении внешнего эмиттера электронов. Технический результат полезной модели заключается в увеличении импульсной мощности генерируемого пироэлектрическим источником рентгеновского излучения за счет использования управляемого катодного источника ускоренных электронов, что позволяет управлять потоком электронов и делает возможным управление генерируемым потоком рентгеновского излучения.

Также, известно устройство «Пироэлектрический источник рентгеновского излучения» (RU № 184642U1, публ. 01.11.2018), предлагающее использование пироэлектрического кристалла, по сути, как «аккумулятора» заряда, который выводится на металлический катод/анод с последующей генерацией рентгеновского излучения по схеме стандартной рентгеновской трубки.

Другая модификация пироэлектрического генератора рентгеновского излучения, описанная в патенте под названием «Device for generating X-radiation by means of pyroelectric material» (DE № 202013005768U1, публ. 22.07.2013 г.), включает в себя элементы электронной оптики для фокусировки генерируемого пироэлектриком электронного луча, что позволяет увеличить яркость генерируемого излучения. Затем устройство было модифицировано и описано в патенте «Device for elemental analysis on microscopes» (DE №202014105158U1, публ. 24.11.2014 г.). Модификация заключалась в возможности перемещения исследуемого образца, что позволило использовать устройство для элементного анализа вещества.

Общим недостатком известных устройств является отсутствие четко заданного закона варьирования температуры пироэлектрического кристалла, в котором были бы учтены особенности генерации заряда на полярной поверхности, соблюден баланс положительного и отрицательного заряда при термоциклировании и учтены тепловые процессы после завершения активной фазы пользования устройством.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является «High energy crystal generators

and their applications» (US № 7741615 B2, публ. 22.06.2010 г.), который позволяет генерировать электроны, рентгеновское излучение и нейтроны. Описанное устройство включает сегнетоэлектрический, пироэлектрический или пьезоэлектрический кристалл, нагревательное устройство и источник питания, мишень, электрод, углеродную нанотрубку, кроме того, дополнительно содержит диэлектрический кожух, установленный на боковые поверхности кристалла для предотвращения электрических пробоев. Конфигурация описанного источника предполагает использование дополнительного острия на полярной поверхности кристалла и дейтерированных структур для осуществления D-D реакции и генерации быстрых нейтронов. Недостатком данного устройства является то, что оно работает только при нагревании (одна термическая фаза) кристалла нагревательным элементом и не позволяет осуществлять контроль за изменением температуры кристалла. Причем закон варьирования температуры не конкретизируется, что не позволяет генерировать стабильный и воспроизводимый поток ионизирующего излучения.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, позволяющего генерировать стабильный, воспроизводимый и управляемый поток ионизирующего излучения (электронов, рентгеновского излучения и нейтронов) за счет пироэлектрического эффекта, согласно строго установленному закону варьирования (цикл нагрев-охлаждение) температуры пироэлектрического кристалла.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого устройства - генератора ионизирующего излучения на основе периодического варьирования температуры пироэлектрического кристалла, который содержит пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство - элемент Пельтье, мишень с креплением, источник питания, который содержится в дополнительно установленном термоконтроллере, расположенном вне вакуумированного корпуса на теплопроводе, на котором также закреплена термопара, которые все вместе осуществляют периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла, кроме того в мишени и ее креплении, установленной внутри вакуумированного корпуса напротив пироэлектрического кристалла и соосно ему, выполнено сквозное отверстие, обеспечивающее вывод генерируемого потока электронов в окно для вывода электронов, интегрированное в верхнюю часть вакуумированного корпуса (первый вариант). Также устройство включает окно для вывода рентгеновского излучения (второй вариант) и ионизаторы на поверхности пироэлектрического кристалла (третий вариант), а внутри вакуумированного корпуса и на поверхности мишени содержится дейтерий (третий вариант).

Указанная совокупность существенных признаков обеспечивает решение поставленной задачи таким образом, что при периодическом варьировании температуры пироэлектрического кристалла в каждой термической фазе (нагрев или охлаждение) осуществляется генерация заряда определенной полярности на поверхности пироэлектрического кристалла, что является причиной генерации электрического потенциала между пироэлектрическим кристаллом и мишенью, что приводит к генерации ионизирующего излучения.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа, описанного в патенте «High energy crystal generators and their applications» (US № 7741615B2, публ. 22.06.2010 г.), тем, что дополнительно содержит термопару и термоконтроллер, позволяющие изменять температуру пироэлектрического кристалла по заданному закону периодического варьирования, тем самым обеспечивая стабильный и воспроизводимый поток

ионизирующего излучения в каждой термической фазе термоциклирования.

Преимущество предлагаемого устройства заключается в строго определенном законе варьирования температуры пироэлектрического кристалла за счет наличия термоконтроллера и термопары, которые позволяют генерировать стабильный поток ионизирующего излучения и, в случае необходимости, воспроизводить его.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в генерации стабильного, управляемого и воспроизводимого потока ионизирующего излучения.

Предложено три варианта устройства.

В первом варианте технический результат достигается за счет того, что в процессе изменения температуры пироэлектрического кристалла на его поверхности возникает заряд, который приводит к генерации сильного электрического поля между пироэлектрическим кристаллом и мишенью и, как следствие, к генерации электронов либо с пироэлектрического кристалла, либо с мишени (в зависимости от термической фазы и ориентации вектора спонтанной поляризации пироэлектрического кристалла).

Второй вариант отличается тем, что электроны ускоряются в электрическом поле и при торможении в пироэлектрическом кристалле или мишени (в зависимости от ориентации вектора спонтанной поляризации) происходит генерация рентгеновского излучения.

Третий вариант отличается тем, что на поверхности пироэлектрического кристалла установлены ионизаторы, причем внутри вакуумированного корпуса и на поверхности мишени содержится дейтерий. Это обеспечивает протекание D-D реакции, при изменении температуры пироэлектрического кристалла, продуктом которой является поток нейтронов.

Изобретение поясняется чертежами.

Фиг. 1 а – общий вид устройства (вариант 1);

Фиг. 1 б – вид устройства сбоку (вариант 1);

Фиг. 2 – общий вид устройства (вариант 2);

Фиг. 3 – общий вид устройства (вариант 3);

Фиг. 4 – фазовая диаграмма работы предлагаемого устройства при периодическом варьировании температуры пироэлектрического кристалла.

Предлагаемое устройство в первом варианте (Фиг. 1 а, Фиг. 1 б) состоит из пироэлектрического кристалла 1, элемента Пельтье 2, теплопровода 3, термоконтроллера 4, термопары 5, вакуумированного корпуса 6, мишени 7 и ее крепления 8, окна 9 для вывода электронов.

Второй вариант (Фиг. 2) отличается от первого варианта установленным окном 10 для выхода рентгеновского излучения взамен окна 9 для вывода электронов.

Третий вариант (Фиг. 3) отличается от первого варианта наличием ионизаторов 11 на поверхности пироэлектрического кристалла 1, содержанием дейтерия внутри вакуумированного корпуса 6 и на поверхности мишени 7 (вместо воздуха).

Пироэлектрический кристалл 1 (например, LiTaO_3) цилиндрической или кубической формы с помощью проводящего эпоксидного клея крепится к элементу Пельтье 2, который также приклеен к теплопроводу 3. Между верхней поверхностью элемента Пельтье 2 (которая контактирует с нижней гранью пироэлектрического кристалла 1) и теплопроводом 3 обеспечен электрический контакт, позволяющий заземлить нижнюю грань пироэлектрического кристалла 1. Теплопровод 3 представляет собой объемный цилиндр изготовленный из меди/алюминия или любого другого металлического материала с высокой теплопроводностью. Теплопровод 3 обеспечивает перенос тепла от поверхности элемента Пельтье 2, к которой он приклеен, в окружающую среду, тем

самым обуславливая стабильное термоциклирование. На свободной стороне теплопровода 3 закреплен термоконтроллер 4, обеспечивающий питание элемента Пельтье 2 по закону периодического варьирования температуры пироэлектрического кристалла 1 с заданной амплитудой и частотой. Определение температуры пироэлектрического кристалла 1 осуществляется с помощью термопары 5, установленной на теплопровод 3, которая передает сигнал на термоконтроллер 4. В зависимости от отклонения значения температуры теплопровода 3 от заданного, производится корректировка закона изменения температуры пироэлектрического кристалла 1 термоконтроллером 4. Вакуумированный корпус 6 имеет форму параллелепипеда или цилиндра и изготовлен из слабомагнитной нержавеющей стали, которая не оказывает влияния на движение частиц, а также не пропускает электроны и рентгеновское излучение наружу, обеспечивая тем самым, безопасность источника для окружающих. На внутреннюю поверхность вакуумированного корпуса 6, напротив пироэлектрического кристалла 1, крепится мишень 7 с помощью крепления 8. Мишень 7 представляет собой тонкую металлическую пластину площадью в 1.5-2 раза превышающую площадь верхней поверхности пироэлектрического кристалла 1. Также внутри вакуумированного корпуса 6 устанавливаются пироэлектрический кристалл 1, элемент Пельтье 2 и часть теплопровода 3. Нижняя поверхность пироэлектрического кристалла 1, теплопровод 3, вакуумированный корпус 6 и мишень 7 должны иметь один и тот же электрический потенциал.

По варианту 1 в мишени 7 и ее креплении 8 выполнено сквозное отверстие (Фиг. 1 б), соосное пироэлектрическому кристаллу 1, через которое электроны, ускоряемые от пироэлектрического кристалла 1, достигают окна 9 для вывода электронов. Тем самым, отверстие в мишени 7 и ее креплении 8 выполняет роль коллиматора электронного потока. Окно 9 для вывода электронов, изготовленное из бериллиевой или алюминиевой фольги толщиной порядка 1-10 мкм, интегрировано в верхнюю часть вакуумированного корпуса 6.

По варианту 2 окно 10 для выхода рентгеновского излучения, изготовленное из бериллиевой или алюминиевой фольги толщиной порядка 1-20 мкм, интегрировано в вакуумированный корпус 6 таким образом, чтобы обеспечивать выход рентгеновского излучения как от пироэлектрического кристалла 1, так и от мишени 7. Поэтому, окно 10 для выхода рентгеновского излучения расположено на боковой поверхности вакуумированного корпуса 6 и на одинаковом расстоянии от пироэлектрического кристалла 1 и мишени 7.

По варианту 3 на свободной поверхности пироэлектрического кристалла 1 установлены ионизаторы 11 для осуществления более эффективной ионизации остаточного газа. Внутри вакуумированного корпуса 6 вместо воздуха содержится дейтерий при давлении остаточного газа от 10^{-2} Торр и ниже. Также на поверхности мишени 7 содержится дейтерий в виде пленки. Вакуумированный корпус 6 не имеет каких-либо окон для выхода частиц, так как генерация быстрых нейтронов изотропна и вакуумированный корпус 6 не препятствует распространению потока нейтронов.

Работают все варианты устройства в условиях вакуума, при давлении остаточного газа от 10^{-2} Торр и ниже. На пироэлектрический кристалл 1 с помощью элемента Пельтье 2 оказывается термическое воздействие. Значение температуры пироэлектрического кристалла 1 определяется с помощью термопары 5, установленной на теплопровод 3, которая передает сигнал на термоконтроллер 4.

Периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла 1 осуществляется по синусоидальному закону (момент фазы варьирования температуры

0, Фиг. 4). Предлагаемый закон варьирования температуры описывается следующей формулой:

$$T(t) = T_0 + T_1 \sin(2\pi vt),$$

5 где T_0 – начальная температура, T_1 – амплитуда варьирования температуры, v – частота варьирования температуры.

При этом, первая термическая фаза занимает только половину времени (нагрев – Н, Фиг. 4). По мере изменения температуры пироэлектрического кристалла 1, после достижения разницы температуры, возникает фаза генерации частиц (генерация – Г, 10 Фиг. 4), которая продолжается до завершения термической фазы. Далее, происходит смена термической фазы – момент фазы варьирования температуры $\pi/2$ (нагрев – Н сменяется охлаждением – О, Фиг. 4). В полноценной термической фазе (которая длится полный период, например с $\pi/2$ до $3\pi/2$) генерация частиц начинается в момент $3\pi/4$ и длится до окончания термической фазы в момент $3\pi/2$ (охлаждение – О сменяется 15 нагревом – Н, Фиг. 4). Последующая термическая фаза протекает таким же образом. При периодическом варьировании температуры пироэлектрического кристалла 1 необходимо, чтобы: изменение значений экстремумов кривой варьирования температуры было минимальным в течение работы устройства; начальная фаза термоциклирования должна быть выбрана таким образом, чтобы первая термическая фаза занимала только 20 половину времени от полноценной термической фазы; термоциклирование должно заканчиваться в момент фазы варьирования температуры $3\pi/5$ или $8\pi/5$ (на Фиг. 4 не показано).

В результате изменения температуры пироэлектрического кристалла 1 по заданному закону, на его поверхности возникает заряд, что приводит к генерации сильного 25 электрического поля между пироэлектрическим кристаллом 1 и мишенью 7. Полевая эмиссия электронов инициируется либо с поверхности пироэлектрического кристалла 1, либо с поверхности мишени 7 в зависимости от термической фазы и ориентации вектора спонтанной поляризации пироэлектрического кристалла 1. При ориентации вектора спонтанной поляризации в сторону мишени 7, фаза охлаждения соответствует эмиссии 30 с поверхности пироэлектрического кристалла 1, фаза нагрева – эмиссии с поверхности мишени 7, при ориентации вектора спонтанной поляризации в сторону элемента Пельтье 2 – наоборот.

При работе первого варианта устройства поток ускоренных электронов через отверстие в мишени 7 и ее держателе 8 достигает окна 9 для вывода электронов и 35 выходит наружу устройства. Стоит отметить, что генерация электронного потока осуществляется только в одну термическую фазу генерации частиц (нагрев или охлаждение, что определяется направлением вектора спонтанной поляризации пироэлектрического кристалла 1).

При работе второго варианта устройства электроны ускоряются в электрическом 40 поле и при торможении в пироэлектрическом кристалле 1 или мишени 7 (в зависимости от ориентации вектора спонтанной поляризации) происходит генерация рентгеновского излучения. Часть излучения через окно 10 для выхода рентгеновского излучения выходит из устройства, а остальная часть поглощается в вакуумированном корпусе 6.

При работе третьего варианта устройства, при изменении температуры 45 пироэлектрического кристалла 1 использование ионизаторов 11 и содержание дейтерия внутри вакуумированного корпуса 6 позволяет осуществлять ионизацию остаточного газа, в том числе и электронами, эмитирующими с мишени 7, на поверхности которой содержится дейтерий в виде пленки, что приводит к генерации положительных ионов

дейтерия, которые при индукции положительного заряда на поверхности пирозлектрического кристалла 1 ускоряются к поверхности мишени 7. При соударении ускоренного иона дейтерия с соответствующим атомом в мишени 7, возникает D-D реакция синтеза, продуктом которой являются нейтроны. Стоит отметить, что генерация нейтронов осуществляется только в одну термическую фазу генерации частиц (нагрев или охлаждение, что определяется направлением вектора спонтанной поляризации пирозлектрического кристалла 1).

Предлагаемые варианты работы устройства позволяют осуществлять генерацию стабильного, управляемого и воспроизводимого потока ионизирующего излучения – электронов, рентгеновского излучения и нейтронов.

Пример конкретного использования:

Для осуществления работы устройства был использован пирозлектрический кристалл 1, изготовленный из танталата лития в виде параллелепипеда высотой 10 мм и площадью $20 \times 20 \text{ мм}^2$, с ориентацией вектора спонтанной поляризации в сторону элемента Пельтье 2, который закреплен на теплопровод 3, изготовленный из дюралюминия в виде цилиндра диаметром 30 мм и длиной 75 мм. Пирозлектрический кристалл 1, элемент Пельтье 2, часть теплопровода 3, мишень 7, изготовленная в виде пластины из латуни толщиной 0,5 мм и площадью $35 \times 35 \text{ мм}^2$, с креплением 8 установлены в вакуумированном корпусе 6. Вакуумированный корпус 6 изготовлен из нержавеющей стали в форме параллелепипеда и имеет размеры $70 \times 70 \times 40 \text{ мм}$. Периодическое варьирование температуры пирозлектрического кристалла 1 с частотой 0,5 мГц и размахом амплитуды в $20 \text{ }^\circ\text{C}$ осуществляется при помощи элемента Пельтье 2, площадью $23 \times 23 \text{ мм}^2$ и высотой 4 мм, который питается за счет термоконтроллера 4, который обеспечивает синусоидальное изменение температуры пирозлектрического кристалла 1 с заданной частотой, амплитудой и пределами изменения температуры.

На элемент Пельтье 2 подается синусоидальный сигнал с амплитудой общей мощности 1 Вт и частотой 0,5 мГц. Термоциклирование начинается с половинной термической фазы нагрева, экстремумы изменения температуры установлены как $18 \text{ }^\circ\text{C}$ и $38 \text{ }^\circ\text{C}$. После старта первой полноценной термической фазы охлаждения, каждые $\pi/10$ от цикла производится сравнение ожидаемой и измеряемой температуры при помощи термопары 5. В случае расхождения более чем на $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью термоконтроллера 4 производится коррекция величины подаваемой мощности на величину 0,05 Вт для устранения расхождения. Окончание работы устройства также осуществляется при помощи термоконтроллера 4, однако завершение подачи мощности термоконтроллер 4 осуществляет в вышеуказанные промежутки термического цикла - $3\pi/5$ или $8\pi/5$.

Для осуществления первого варианта работы устройства в мишени 7 и ее держателе 8 было выполнено отверстие радиусом 1 мм. Также в вакуумированный корпус 6 было интегрировано окно 9 для вывода электронов, изготовленное из бериллиевой фольги толщиной 5 мкм. Периодическое варьирование температуры пирозлектрического кристалла 1 привело к генерации электронного потока, пиковая интенсивность которого составила 8×10^6 электронов в секунду, а эффективная интенсивность излучения не менее 5×10^6 электронов в секунду. В течении порядка 400 секунд интенсивность генерируемого потока не менее чем эффективная интенсивность, в это время энергия генерируемого потока электронов была стабильной и составляла 50-60 кэВ. Фаза генерации электронного потока происходила только в каждую термическую фазу нагрева, т.к. вектор спонтанной поляризации пирозлектрического кристалла 1 направлен в сторону

элемента Пельтье 2.

Для осуществления второго варианта работы устройства в вакуумированный корпус 6 было интегрировано окно 10 выхода рентгеновского излучения радиусом 5 мм и площадью порядка 20 мм^2 . Периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла 1 приводит к генерации рентгеновского излучения на протяжении 1200 секунд, начиная с первой полноценной термической фазы. Пиковая интенсивность генерируемого потока излучения достигает 8×10^5 квантов в секунду (на площадь выходного окна), эффективная интенсивность излучения не менее 5×10^5 квантов в секунду. В течение порядка 600 секунд интенсивность генерируемого излучения не менее чем эффективная интенсивность. Граничная энергия спектра достигает 60 кэВ, во время фазы нагрева осуществляется генерация характеристических линий тантала (L_{α} : 8.15 keV, L_{β} : 9.35 кэВ, L_{γ} : 10.89 кэВ), во время фазы охлаждения осуществляется генерация характеристических линий меди (K_{α} : 8.05 кэВ) и цинка (K_{α} : 8.64 кэВ).

Для осуществления третьего варианта работы на поверхности пироэлектрического кристалла 1 были установлены ионизаторы 11. Вакуумированный корпус 6 не имел окон для выхода частиц, так как он не препятствует распространению потока нейтронов, внутри него и на поверхности мишени 7 содержался дейтерий. Периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла 1 приводит к генерации изотропного потока быстрых нейтронов с энергией 2.45 МэВ в каждую фазу охлаждения, т.к. вектор спонтанной поляризации пироэлектрического кристалла 1 направлен в сторону элемента Пельтье 2. Общий выход нейтронов составляет около 1500 частиц за всю фазу, пиковая интенсивность составляет 8 нейтронов в секунду в полный телесный угол.

Испытания всех трех вариантов работы устройства показали, что изобретение позволяет генерировать стабильный, управляемый и, в случае необходимости, воспроизводимый поток электронов, рентгеновского излучения и нейтронов – ионизирующее излучение, что подтверждает одинаковое назначение предлагаемых вариантов устройства.

Предлагаемое устройство найдет применение в рентгеновской и ускорительной технике, как калибровочный источник для детекторов заряженных частиц, детекторов нейтрино и темной материи, нейтронных спектрометров, как эмиттер электронов в ускорителях, а также как источник для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, низковольтной электронной микроскопии, а также как калибровочный источник для детекторов рентгеновского излучения, как источник для рентгеноспектрального, рентгеноструктурного анализа, получения рентгеновских изображений небольших объектов (порядка 1 см).

(57) Формула изобретения

1. Генератор ионизирующего излучения на основе периодического варьирования температуры пироэлектрического кристалла, содержащий пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство, источник питания и мишень, отличающийся тем, что нагревательное устройство выполнено в виде элемента Пельтье, а источник питания содержится в дополнительно установленном термоконтроллере, расположенном вне вакуумированного корпуса на теплопроводе, на котором также вне вакуумированного корпуса закреплена термопара, которые все вместе осуществляют периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла по синусоидальному закону $T(t) = T_0 + T_1 \cdot \sin(2\pi vt)$, где T_0 - начальная температура, T_1 - амплитуда варьирования

температуры, ν - частота варьирования температуры, при этом начальная фаза термоциклирования должна быть выбрана таким образом, чтобы первая термическая фаза занимала только половину времени от полноценной термической фазы, термоциклирование должно заканчиваться в момент фазы варьирования температуры $3\pi/5$ или $8\pi/5$, а изменение значений экстремумов кривой варьирования температуры должно быть минимальным в течение работы устройства, кроме того, в мишени и ее креплении, установленной внутри вакуумированного корпуса напротив пироэлектрического кристалла и соосно ему, выполнено сквозное отверстие, обеспечивающее вывод генерируемого потока электронов в окно для вывода электронов, интегрированное в верхнюю часть вакуумированного корпуса.

2. Генератор ионизирующего излучения на основе периодического варьирования температуры пироэлектрического кристалла, содержащий пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство, источник питания и мишень, отличающийся тем, что нагревательное устройство выполнено в виде элемента Пельтье, а источник питания содержится в дополнительно установленном термоконтроллере, расположенном вне вакуумированного корпуса на теплопроводе, на котором также вне вакуумированного корпуса закреплена термопара, которые все вместе осуществляют периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла по синусоидальному закону $T(t)=T_0+T_1 \cdot \sin(2\pi\nu t)$, где T_0 - начальная температура, T_1 - амплитуда варьирования температуры, ν - частота варьирования температуры, при этом начальная фаза термоциклирования должна быть выбрана таким образом, чтобы первая термическая фаза занимала только половину времени от полноценной термической фазы, термоциклирование должно заканчиваться в момент фазы варьирования температуры $3\pi/5$ или $8\pi/5$, а изменение значений экстремумов кривой варьирования температуры должно быть минимальным в течение работы устройства, кроме того, мишень установлена внутри вакуумированного корпуса с помощью крепления и расположена напротив пироэлектрического кристалла, что обеспечивает ускорение электронов в электрическом поле и, при их торможении в пироэлектрическом кристалле или мишени, генерацию рентгеновского излучения, направленного в окно для выхода рентгеновского излучения, расположенного в боковой поверхности вакуумированного корпуса.

3. Генератор ионизирующего излучения на основе периодического варьирования температуры пироэлектрического кристалла, содержащий пироэлектрический кристалл, нагревательное устройство, источник питания и мишень, отличающийся тем, что нагревательное устройство выполнено в виде элемента Пельтье, а источник питания содержится в дополнительно установленном термоконтроллере, расположенном вне вакуумированного корпуса на теплопроводе, также вне вакуумированного корпуса закреплена термопара, которые все вместе осуществляют периодическое варьирование температуры пироэлектрического кристалла по синусоидальному закону $T(t)=T_0+T_1 \cdot \sin(2\pi\nu t)$, где T_0 - начальная температура, T_1 - амплитуда варьирования температуры, ν - частота варьирования температуры, при этом начальная фаза термоциклирования должна быть выбрана таким образом, чтобы первая термическая фаза занимала только половину времени от полноценной термической фазы, термоциклирование должно заканчиваться в момент фазы варьирования температуры $3\pi/5$ или $8\pi/5$, а изменение значений экстремумов кривой варьирования температуры должно быть минимальным в течение работы устройства, кроме того, мишень расположена внутри вакуумированного корпуса с помощью крепления и установлена напротив пироэлектрического кристалла, причем на свободной поверхности пироэлектрического

кристалла установлены ионизаторы, а внутри вакуумированного корпуса вместо воздуха содержится дейтерий, содержащийся также на поверхности мишени в виде пленки, обеспечивающие протекание D-D реакции, продуктом которой являются нейтроны, кроме того, вакуумированный корпус не имеет окон для выхода
5 генерируемого изотропного потока нейтронов.

10

15

20

25

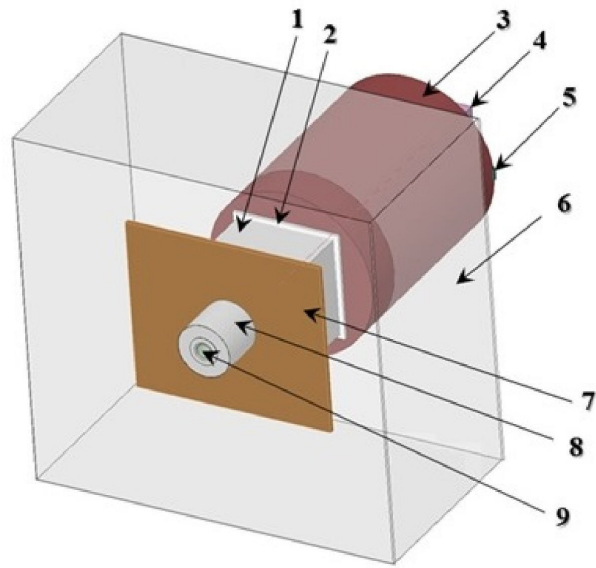
30

35

40

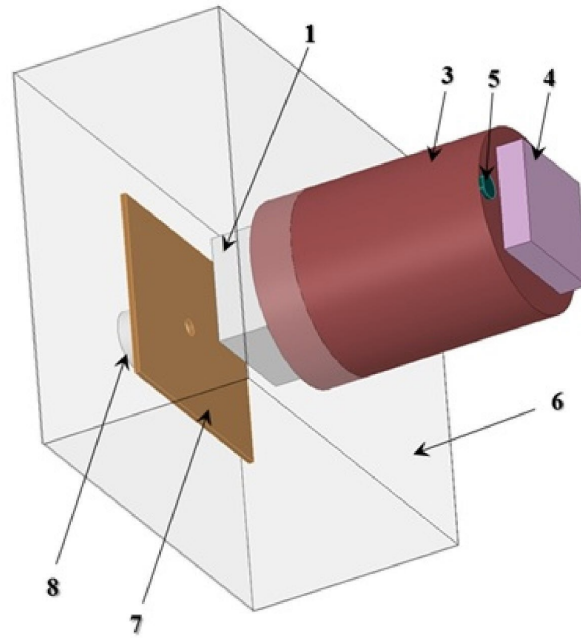
45

1

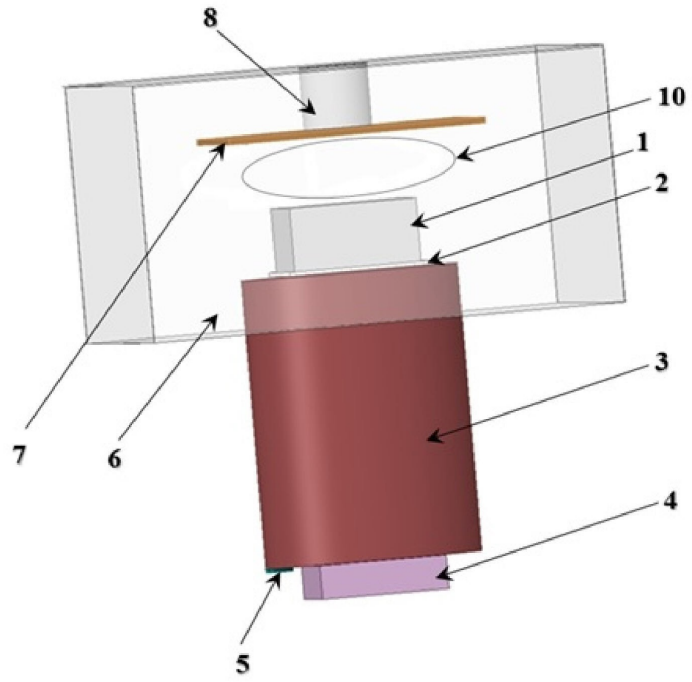


Фиг. 1 а

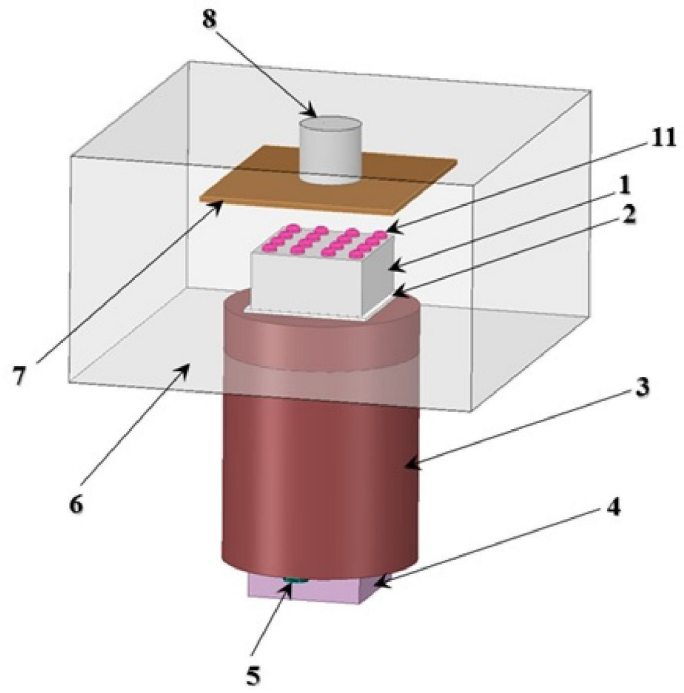
2



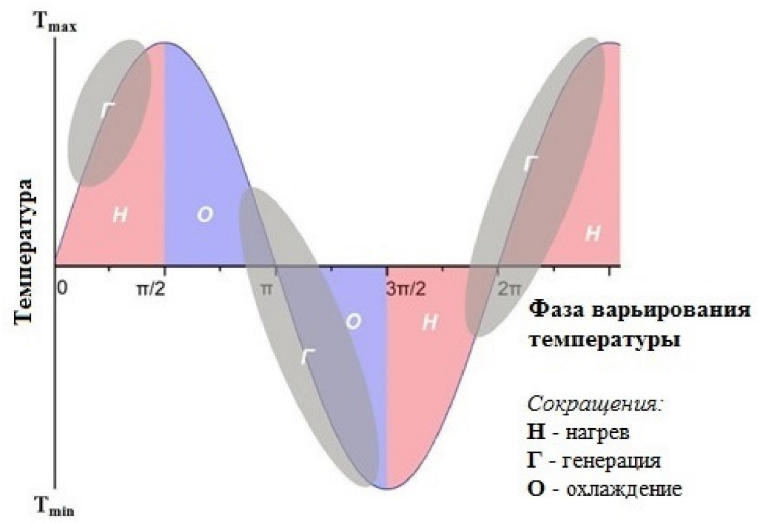
Фиг. 1 б



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4